

(株)パシフィックコンサルタンツ
埼玉大学 工学部

○倉持 秀明
正員 山辺 正

1. はじめに

本報告は、新第三紀堆積のシルト質軟岩を対象とし、応力経路に依存したこれらの力学挙動に着目して、三軸圧縮試験の結果をまとめものである。また、シルト質軟岩の弾塑性構成式の誘導を行った。さらに、この式を用いて三軸圧縮試験の数値シミュレーションを行うことによって、その妥当性を検討するものである。

2. 実験

今回、三軸圧縮試験に用いた供試体は直径5cm、高さ10cmの円柱形である。排水方法は供試体底面からの片面排水方式である。また、体積ひずみは排水量から算出した。三軸圧縮試験としては、拘束圧一定、平均有効主応力一定軸方向応力一定の三つの応力経路でのCU試験、並びに、CU試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1. 多くの軟岩が示す変形特性と同様に、本軟岩に対しても、せん断過程において、応力レベルに応じて軸差応力-軸ひずみ関係は「ひずみ硬化-軟化型」から「ひずみ硬化型」へと移行している。

2. せん断過程で生じる体積ひずみに関しては、応力レベル並びに応力経路に依存した体積圧縮、または、膨張がみられた。

3. 構成式の誘導

1. 降伏関数 実験結果より図-1に示すストレス-ダイレイタンス関係が得られた。初期降伏点を図のように直線関係にあると仮定すると、式-(1)(図-1中)に示すエネルギー式が得られる。この式と、直交則を補正した形の式-(2)を用いることにより応力に関する微分方程式が得られる。これを解くと、指数関数型の初期降伏関数が得られる(式-(3))。これを $p-q$ 面上に示したのが、図-2である。

今回、構成モデルを誘導するにあたり、「ひずみ軟化」を示すような低圧レベルについては考えないことにする。実験結果によると、「ひずみ軟化」を示す場合には卓越したせん断面を伴う破壊形態を示した。つまり、連続体力学の概念で説明することは困難であると思われる。また、単調負荷モデルとして式の誘導を行う。次に、等方硬化則を仮定し、ハードニングパラ

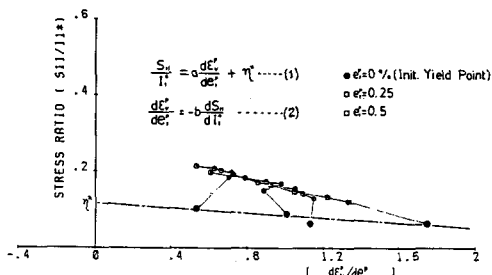


図-1 ストレス・ダイレイタンス関係

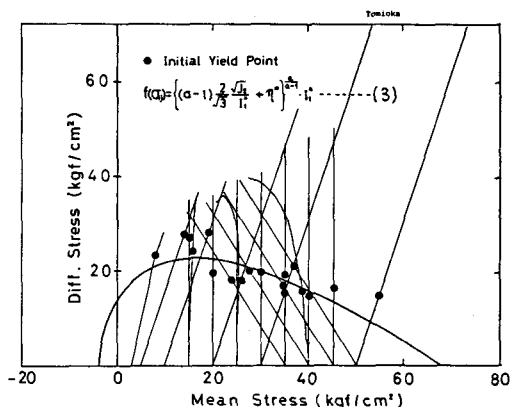


図-2 初期降伏関数

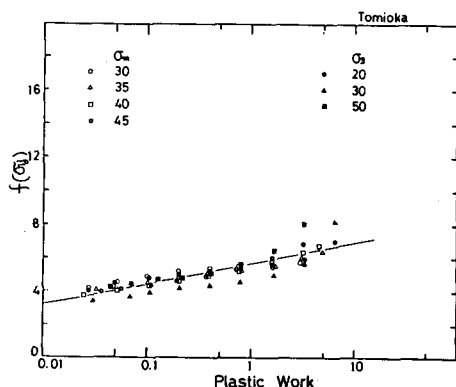


図-3 ハードニングパラメータ

メータとして加工硬化パラメータを適用した。図-3は、実験結果から算出した塑性仕事と式-(3)に示した降伏関数 f の関係を示したものである。これより後続の降伏関数は、式-(4)で与えられる。

$$f(\sigma_y, k) = f(\sigma_y) - k(k) \quad , \quad k(k) = k_1 + k_2 \log k \quad (4)$$

2) 塑性ひずみ増分ベクトル

図-4(a), (b), (c)はそれぞれ、拘束圧一定、平均有効主応力一定、軸方向応力一定のCD試験の結果から得られた塑性ひずみ増分ベクトルを p' - q' 面上に示したものである。これらの図から、塑性ひずみ増分ベクトルの方向は応力経路に依存していると考えられる。

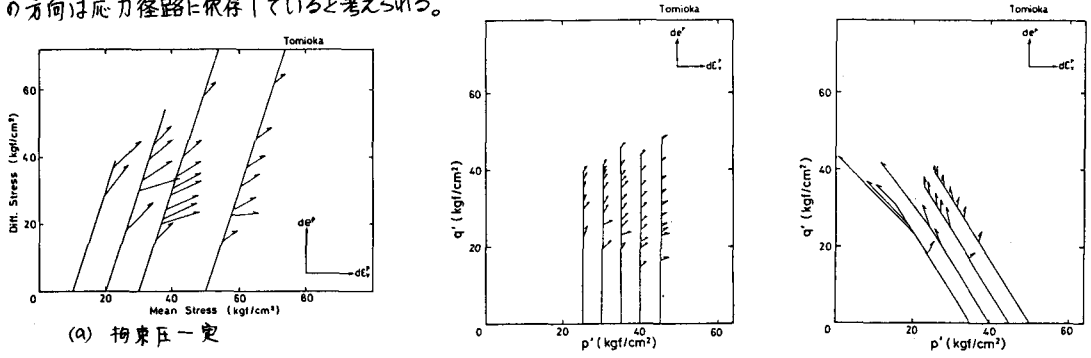


図-4 塑性ひずみ増分ベクトル

つまり、本軟岩に対しては、非関連流れ則を用いて構成式の誘導を行うことが適当だと考えられる。

3) ダイレイタンス関数 β

塑性体積ひずみ増分と塑性偏差ひずみ増分のノルムの比をダイレイタンス関数 β と定義し、これを導入することにより非関連流れ則を適用した。図-5は、平均有効応力一定試験の結果から得られた塑性偏差ひずみ-塑性体積ひずみ関係を示したものである。この実験結果に対して、双曲線型の関数を用い、その微分型を $\dot{\sigma}_m = \text{const.}$ の時の β とした。各応力経路に対して一般化したのが式-(5)である。

$$\beta = d\epsilon_v / (d\epsilon_1 + d\epsilon_2) = d_3 (d\epsilon_1 / d\sqrt{J_2}) \quad (5)$$

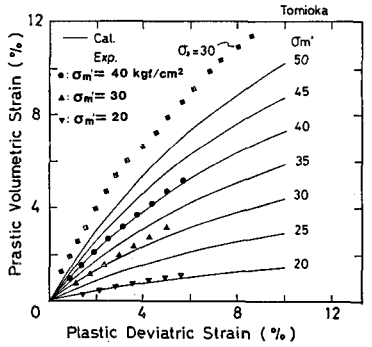


図-5 塑性体積ひずみ-塑性偏差ひずみ

4) 構成式

以上より、本軟岩の弾塑性構成式は、式-(6)となる。

$$d\sigma_y = \left\{ D_{vm} - \frac{D_{vp} \left(\frac{S_{yr}}{\sqrt{2}J_2} + \frac{1}{3} \beta \dot{\sigma}_{yr} \right) \frac{\partial f}{\partial \sigma_y} D_{stke}}{h + \frac{\partial f}{\partial \sigma_m} D_{mnop} \left(\frac{S_{op}}{\sqrt{2}J_2} + \frac{1}{3} \beta \dot{\sigma}_{op} \right)} \right\} d\epsilon_{ke} \quad (6)$$

式-(6)を用いて、三軸圧縮試験の数値シミュレーションを行った結果を図-6に示す。

4. 結論

本軟岩に対するせん断応力下の降伏曲面としては、いずれの応力経路に対して統一的な応力空間上の曲面を仮定することができる。また、本試料のようなシルト質軟岩の弾塑性挙動を表現するには、非関連流れ則を用いたモデルが適当であると思われる。

参考文献 1) Rudnicki, J.W. & Rice, J.R., 'Conditions for the localization of deformation in pressure-sensitive dilatant material', J.M. Phys. Solids, 16, 23, pp 371-394 (1975)
2) 安田 好伸, 名古屋大学工学論文(1984)

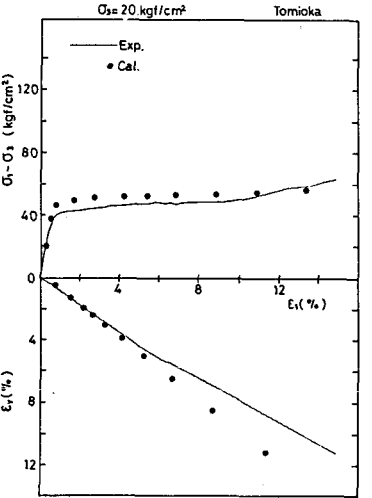


図-6 応力-ひずみ関係